熱赤外サーモグラフィ装置を用いた構造物の劣化検出に関する基礎実験

千葉大学大学院工学研究科　学生会員　○上田　英臣
千葉大学大学院工学研究科　正会員　山崎　文雄

1.　緒言

現在，多くの構造物が更新時期を迎え，劣化の修復・補強が必要となる構造物は今後も増加していく一方である．特に，劣化構造物の外壁部分の浮きによる剥離事故は問題視され，早期発見･改善する手法が求められる．そして，逼迫する経済などを考慮しても，可能な限り効率的な調査方法が必要となる．そこで，一度に広範囲の損傷部分や内部空隙などの劣化検出ができる熱赤外サーモグラフィ装置[1]が挙げられる．サーモグラフィ検査は，温度分布や日較差などの熱挙動が，空隙部分と健全部分で異なる事を用いて劣化診断を行う[2]．近年，サーモグラフィ検査は頻繁に行われるようになってきたが，太陽光による加熱が必要不可欠となる事，測定面の汚れによる誤診断の危険性など解決すべき問題も多い．

本研究では，熱赤外サーモグラフィ装置を用いた正確な劣化診断方法の確立を目的とし，劣化検出の問題点の改善や精度向上に向けた基礎的な検討を行った．

2.　研究概要

劣化している擁壁などを対象として，目視とシュミットハンマーを用いた劣化診断を行った．そして，同じ場所においてサーモグラフィカメラによる診断を行い，結果を比較することでサーモグラフィカメラの有用性の確認を行った．次に，空気と似た熱的性質であるバルサ材を，内部空隙の代わりとして埋め込んだモルタルを作成し，太陽光による加熱実験を行った[3]．一日の表面温度の変化を観察し，得られた温度データをもとに，空隙部分と健全部分の日較差や温度上昇の違いを見た．また，フーリエ変換によるデータ処理[4]も行い，空隙部分，健全部分，汚れ部分との違いを明確にできるか試みた．

3.　実験結果と考察

2013 年 11 月 26 日にモルタルの測定面を上向きにし，屋上での太陽光加熱実験を行った．実験は太陽光による加熱のむらをなくすため，5 分ごとにモルタルを回転させ，サーモグラフィカメラを用いて温度データを記録した．実験時間は午前 10 時 00 分から午後 18 時 00 分の時間帯で，天候は晴れ時々曇りであった．実験に使用した

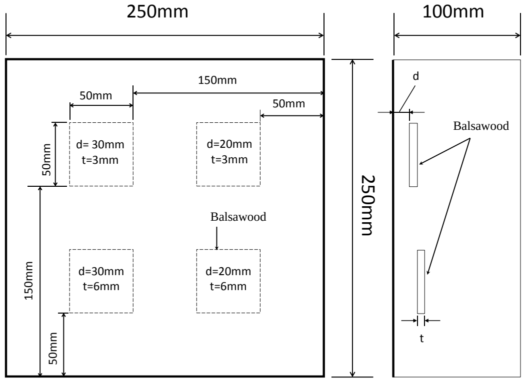


図 1　実験に用いたモルタル寸法と内部空隙の配置．左図の表面が測定面．

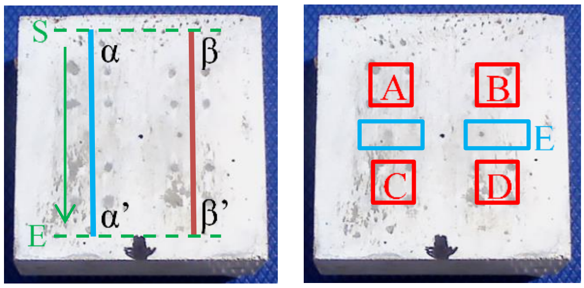


図 2　ライン指定範囲(左)と平均値をとった範囲(右).　赤枠：空隙部分　青枠：健全部分

モルタル試験体を図 1 に，温度データを使用したラインの位置，平均値をとった範囲を図 2 に示す．

まず，モルタル表面の一日の温度変化を示す図 3 から，汚れ部分には著しい温度変化が見られ，空隙部分と健全部分との違いが見られた．次に，空隙部分と健全部分との温度差が見られた，10 時 30 分から 12 時 30 分付近の時刻に着目し，ライン α-α'と β-β'の温度分布を見た．11 時 30 分におけるラインの温度分布を図 4 に，11 時 30 分，12 時 00 分の熱画像を図 5 に示す．図 4 より，ライン α-α'の温度分布をみると，全体的に不規則な温度分布であり，空隙部分の検出は難しかった．これは α-α'のライン上にある空隙が，深い位置にあることや表面の汚れが影響していることが考えられた．汚れについては，実際の構造物を対象に診断を行う際も考慮しなければ，誤診断につながる．ライン β-β'の温度分布をみると，空隙部分と健全部分の間におよそ 1℃程度の温度差が見られ，空隙部分の検出が正確にできていることがわかる．

キーワード：　サーモグラフィ，外壁剥離，内部空隙，パッシブ法，劣化診断
連絡先：〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33　　Tel:043-290-3528

この温度差は，13 時頃にはなくなり，空隙部分の検出はできなくなった.空隙部分と健全部分の温度差は加熱後二時間前後が最も温度差が表れ,劣化診断の際の目安になると考えられた.

次に,温度上昇時である 10 時 30 分から 12 時 30 分における，空隙部分 B，D と健全部分 E の温度差（**図 6**）を比較した．この温度上昇時の B，D と E との温度差は 0.5℃程度見られ，この温度差から空隙部分の検出は熱画像（**図 5**）からも可能であると考えられる．次に，範囲 B,D,E の 10 時 00 分から 12 時 30 分の温度変化のフーリエ係数を求め，数値を比較した（**図 7**）．僅かに，a_1 の絶対値は空隙部分,b_1 の絶対値は健全部分で大きくなったが，この結果からの劣化評価は困難であった．

実験の結果，空隙の深さに関しては，表面から浅い位置の場合に顕著な温度変化が見られ,正確に検出することができた．また，空隙の厚みによる温度の違いは見られなかった．このことから，空隙部分の表面温度は空隙の厚みではなく,深さに大きく依存していると考えられた．劣化の評価をする際は，さまざまなデータを比較することで正確性が増すと考えられる．また，劣化診断の日は晴天であることが望ましいが,日射量の多い時間帯で晴れが 2 時間程度続けば,空隙部分の検出は充分できると考えられる．

4.　まとめと今後の展望

本研究では,熱赤外サーモグラフィ装置による内部空隙の検出実験を行った．そして，ラインデータ，温度上昇時の各部分の温度差,フーリエ変換による温度上昇の傾向などを比較することで，健全部分，空隙部分，汚れ部分の評価が可能であるという結論に至った．

今回は，空隙検出の基礎的な検証を行ったため，今後はさらに精緻な実験，分析を行っていきたい．また，地震による外壁の剥離・崩壊の危険性なども視野にいれ，研究を進めていきたい．

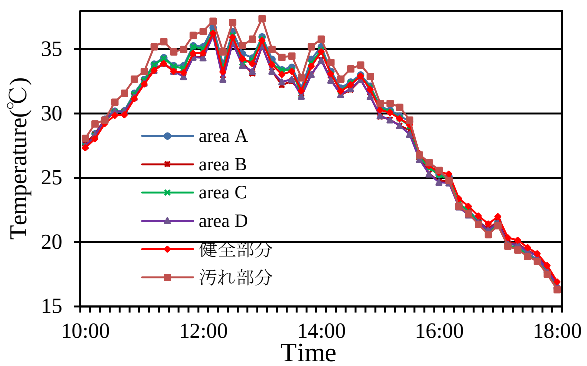


図 3　モルタル表面の一日の温度変化

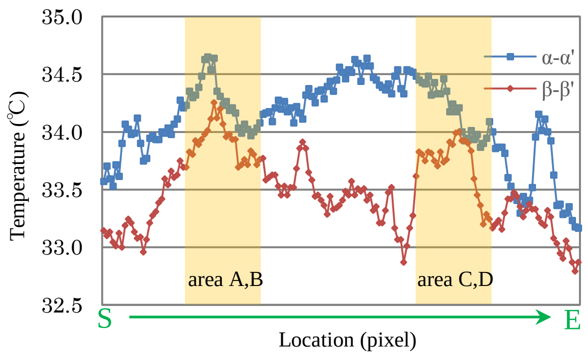


図 4　11 時 30 分における α-α'，β-β'の温度分布(空隙部分：黄色)

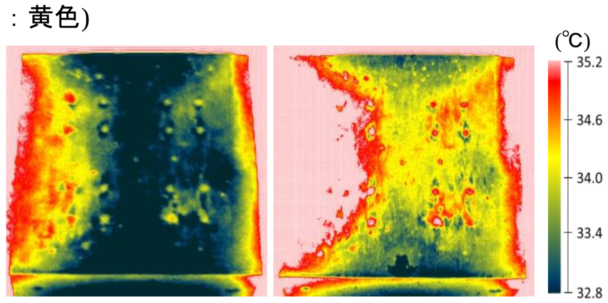


図 5　熱画像(左：11 時 30 分，右：12 時 00 分)

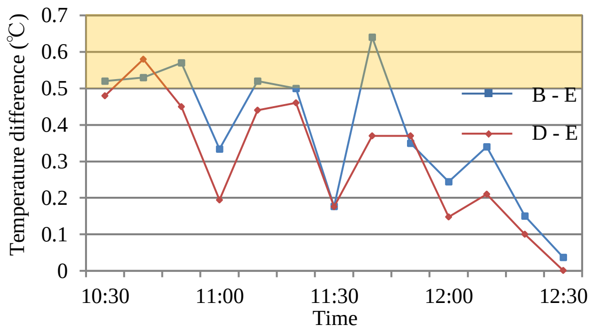


図 6　範囲 B と E，D と E の温度差の時間変化

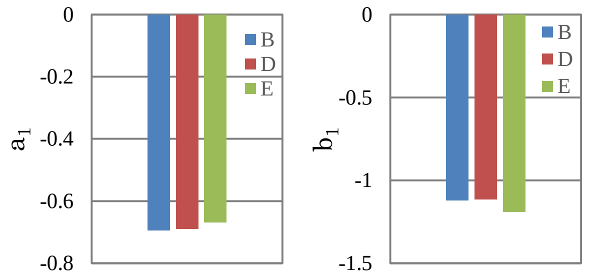


図 7　範囲 B,D,E における 10：00-12：30 のフーリエ係数 a_1,b_1 の比較

参考文献

1)構造物診断用赤外線サーモグラフィ R300SR-S 取扱説明書，日本アビオニクス株式会社

2)長田文博，山田裕一，虫明成生，赤松幸生：熱画像による鉄道高架橋コンクリートのはく離診断手法の開発，土木学会論文集 No.760／V-63，121-133，2004.5

3) 金光寿一，柳内睦人，三星智典：舗装熱を利用したサーモグラフィ法による RC 床板内部の欠陥検出に関する研究，土木学会論文集，No.732，V-59，pp.95-108，2003.5

4)鄭 子揚，阪上 隆英，久保 司郎，佐藤 大輔，中村 士郎:フーリエ級数係数を用いたパッシブ赤外線サーモグラフィによるコンクリートのはく離深さ評価，Journal of JSNDI Vol.61, No.2, pp78-83(2012)